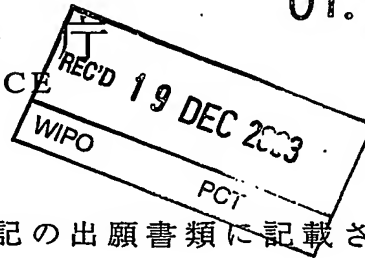


01.12.03

日 本 国 特 許  
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2002年11月29日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2002-347753  
[ST. 10/C]: [JP2002-347753]

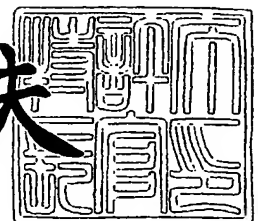
出 願 人  
Applicant(s): 日本電気株式会社

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 7月28日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 34103731

【提出日】 平成14年11月29日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/60  
C01B 31/02

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

【氏名】 阪本 利司

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

【氏名】 川浦 久雄

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

【氏名】 馬場 寿夫

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

【氏名】 二瓶 史行

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

【氏名】 落合 幸徳

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

【氏名】 本郷 廣生

【特許出願人】

【識別番号】 000004237

【氏名又は名称】 日本電気株式会社

## 【代理人】

【識別番号】 100088328

【弁理士】

【氏名又は名称】 金田 暢之

【電話番号】 03-3585-1882

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100106297

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 克博

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100106138

【弁理士】

【氏名又は名称】 石橋 政幸

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 089681

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9710078

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体装置およびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 金属からなる接続プラグの断面に略均一にナノ材料が配置されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 2】 金属からなる配線の底面に略均一にナノ材料が形成されていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 3】 前記ナノ材料が繊維状のカーボンナノ材料、粒子状のカーボンナノ材料またはシリコン細線である請求項 1 または 2 に記載の半導体装置。

【請求項 4】 前記ナノ材料が基板に対して略垂直に配向していることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体装置。

【請求項 5】 前記ナノ材料は、前記接続プラグ全体に配されていることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 6】 前記ナノ材料が、前記配線の上面近傍まで配されていることを特徴とする請求項 2 に記載の半導体装置。

【請求項 7】 前記金属が MOCVD 法または、メッキ法で形成されていることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体装置。

【請求項 8】 絶縁性の基体上にナノメートルサイズの粒子を形成する工程と、  
前記ナノメートルサイズの粒子上にナノ材料を成長させる工程と、  
前記ナノ材料が成長した基板上に金属を堆積させる工程と、  
前記ナノ材料を含む前記金属を配線に加工する工程と、  
を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 9】 絶縁性の基体に溝を形成する工程と、  
少なくとも前記溝の底部にナノメートルサイズの粒子を形成する工程と、  
前記ナノメートルサイズの粒子上にナノ材料を成長させる工程と、  
少なくとも前記溝を埋め込むように金属を堆積させる工程と、  
前記ナノ材料を含む前記金属を配線に加工する工程と、  
を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項10】 前記絶縁性の基体は下層に配線あるいは半導体基板に形成された素子を有し、  
前記絶縁性の基体に形成された溝の底部の一部に前記下層配線あるいは前記素子の少なくとも一部が露出していることを特徴とする請求項9に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項11】 前記ナノメートルサイズの粒子は鉄、白金、ニッケル、コバルトあるいは、ニッケルおよびコバルトのシリサイド物あるいは、酸化鉄のいずれかであることを特徴とする請求項8または9に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項12】 前記ナノ材料は繊維状のカーボンナノ材料、粒子状のカーボンナノ材料または、シリコン細線であることを特徴とする請求項8または9に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項13】 前記金属を堆積させる工程はメッキ法またはMOCVD法により金属を堆積させることを特徴とする請求項8または9に記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体装置とその製造方法に関し、さらに詳しくは、接続プラグまたは配線を有する半導体装置とその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

半導体装置の配線材料および配線を接続する接続プラグにはCu、Alなどの低抵抗金属が用いられている。半導体装置の微細化の進行に伴って、配線および配線プラグの断面積が縮小する。この結果、

- (1) 配線、接続プラグの抵抗値の増大
- (2) 増大した電流密度によるメタルイオンのエレクトロマイグレーション
- (3) プロセス中に受ける熱サイクルや動作中の発熱等によるストレスマイグレーション

が深刻化してきた。エレクトロマイグレーションおよびストレスマイグレーションにより金属配線および接続プラグの抵抗の経時変化や、断線といった問題が発生する。

#### 【0003】

エレクトロマイグレーションにより配線が断線することを防止するために、低抵抗であるがマイグレーションに弱い配線材料A（例えばCuやAl）と高抵抗であるがマイグレーションに強い配線材料B（例えばチタン、タンゲステンやそれらのシリサイド物）を組み合わせる方法がある。この場合、配線材料Bの冗長効果によって配線の断線を防止できる。しかしながらこの方法は、配線には有効ではあるが、配線プラグには有効ではない。また、配線においては断線には至らないものの、配線抵抗が増大する問題がある。さらに、ストレスマイグレーションに対しては有効でない。

#### 【0004】

これに対して、エレクトロマイグレーションに対して耐性のあるカーボンナノチューブを接続プラグに用いた半導体素子が提案されている（ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス誌 第41巻、ページ4370-4374、2002年）。

#### 【0005】

この例は、ビアホール中にカーボンナノチューブを形成し、上部配線層と下部配線層間を繋ぐ接続プラグとしている。5×30ミクロンメートル四方のビアホール中にカーボンナノチューブが1000本程度形成されている。

#### 【0006】

カーボンナノチューブはマイグレーション耐性が高く容易にマイグレーションが生じないことが知られている。

#### 【0007】

##### 【非特許文献1】

ウォルフガング ヘンライン著 「ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス誌」、2002年、第41巻、p4370-4374

#### 【0008】

**【発明が解決しようとする課題】**

配線材料を組み合わせる方法では、接続プラグにおけるエレクトロマイグレーションによるボイド（空孔）の発生を防ぐことができない。また、配線においては、エレクトロマイグレーションやストレスマイグレーションによって、一部の配線が切れることによる抵抗変化は免れない。

**【0009】**

しかしながら、多層カーボンナノチューブが金属的な性質をもち、抵抗が低いにもかかわらず多層カーボンナノチューブを用いた接続プラグは、抵抗値が高い。理由は、カーボンナノチューブと金属配線との間の接触抵抗が大きく、カーボンナノチューブの抵抗が小さくとも、接触抵抗によって接続プラグの抵抗が大きくなることが原因である。

**【0010】**

本発明は、微細化しても抵抗値が低く、エレクトロマイグレーションおよびストレスマイグレーションを生じない高い信頼性をもつ半導体装置の配線構造およびその製造方法を提供することにある。

**【0011】****【課題を解決するための手段】**

本発明は、ライン アンド スペースが $0.1\mu\text{m}$ 以下の設計ルールで製造される半導体装置に最適な配線構造である。本発明では、金属からなる接続プラグの断面に略均一にナノ材料が配置され、更に、金属からなる配線の底面に略均一にナノ材料が形成されていることを特徴とする半導体装置である。

**【0012】**

ここでナノ材料とは、繊維状のカーボンナノ材料、粒子状のカーボンナノ材料またはシリコン細線である。

**【0013】**

これらのナノ材料が基板に対して略垂直に配向している。更に、これらのナノ材料は、接続プラグ全体に配されていることが好ましく、配線の場合は、ナノ材料が、配線の上面近傍まで配されていることが好ましい。

**【0014】**

更に、金属はMOCVD法または、メッキ法で形成されている方がボイドの点で有利である。

【0015】

第1の製造方法としては、  
絶縁性の基体上にナノメートルサイズの金属を形成する工程と、  
ナノメートルサイズの金属上にナノ材料を成長させる工程と、  
ナノ材料が成長した基板上に金属を堆積させる工程と、  
ナノ材料を含む前記金属を配線に加工する工程と、を有することを特徴とする半導体装置の製造方法である。

【0016】

第2の製造方法としては、以下の工程で製造することができる。

【0017】

絶縁性の基体に溝を形成する工程と、  
少なくとも前記溝の底部にナノメートルサイズの金属を形成する工程と、  
ナノメートルサイズの金属上にナノ材料を成長させる工程と、  
少なくとも前記溝を埋め込むように金属を堆積させる工程と、  
ナノ材料を含む前記金属を配線に加工する工程と、を有することを特徴とする半導体装置の製造方法である。

【0018】

この場合、絶縁性の基体は下層に配線あるいは半導体基板に形成された素子を有し、絶縁性の基体に形成された溝の底部の一部に下層配線あるいは素子の少なくとも一部が露出していても良い。

【0019】

ナノメートルサイズの金属は前記ナノ材料を成長させる核となり、ナノメートルサイズの金属は鉄、白金、ニッケル、コバルトあるいは、ニッケルおよびコバルトのシリサイド物あるいは、酸化鉄のいずれかである。

【0020】

ナノ材料は繊維状のカーボンナノ材料、粒子状のカーボンナノ材料または、シリコン細線である。



## 【0021】

金属を堆積させる工程はメッキ法またはMOCVD法により金属を堆積させる方がボイドの点で有利である。

## 【0022】

## 【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態を説明する。

## 【0023】

金属のみからなる配線や接続プラグに過度の電流を流すと、電子流によってメタルイオンが移動する現象であるエレクトロマイグレーションが起こる。一方、メタルイオンの移動先に機械的強度が高い、例えばカーボンナノチューブのようなナノ材料が存在すると、メタルイオンの移動は抑制される。つまりエレクトロマイグレーションは抑制される。

## 【0024】

現在の半導体素子の配線や接続プラグに使用されている金、銀、銅および、アルミのような電気抵抗の低い金属は、原子が金属結合により結合されている。これに対し、フラーレン、カーボンナノチューブ、カーボンナノホーン、シリコン細線のようなナノ材料を構成する原子は、共有結合により結合している。

## 【0025】

カーボンナノ材料の一形態で、カーボンナノチューブの先端のみが炭素塊から突出した構造をした特開2001-64004号公報に示されるカーボンナノホーン等のカーボン材料が製造・発見されている。

## 【0026】

カーボンナノ材料は、共有結合からなり、共有結合は金属結合よりも結合力が強いために、引き離すのに大きなエネルギーが必要なため、機械強度もエレクトロマイグレーション耐性も金属結合よりも高い。

## 【0027】

表1は、機械強度を示すヤング率を、従来例で用いられているCuおよびAlとカーボンナノチューブとを比較したものである。

## 【0028】

【表1】

材料	電気抵抗率 ( $\times 10^{-6} \Omega \text{cm}$ )	ヤング率 ( $\times 10^{12} \text{Pa}$ )
Al	2.74	0.068
Cu	1.70	0.126
カーボンナノチューブ	<0.1	~1

## 【0029】

ナノ材料は、単層カーボンナノチューブ、多層カーボンナノチューブに代表される炭素繊維、フラーレン、カーボンナノホーン等で代表されるナノサイズの炭素材料及び、シリコン細線があげられる。

## 【0030】

ここでカーボンナノチューブとは直径が100nm以下でアスペクト比が10以上あればよい。

## 【0031】

シリコン細線とは、シリコンからなる直径1~100nm、アスペクト比が10以上の繊維状の材料をいう。

## 【0032】

この中で特に繊維状の材料は、製造時の機械的ストレスや温度ストレスにより発生する接続プラグおよび配線の破断を防ぐ働きがある。接続プラグや配線を形成する金属の中に機械的強度が高い繊維上の構造体が含まれているので、建築物における鉄筋とコンクリートの関係と同様に、繊維状構造体（鉄筋）は、金属（建物の骨組）の強度を増し、外部からの振動や熱収縮から接続プラグや配線（建物）を守る働きをする。

## 【0033】

また、カーボンナノチューブの場合、多層カーボンナノチューブは金属的性質を示す。一方、単層カーボンナノチューブは、炭素シートの巻き方であるカイラリティを選ぶことで、金属的性質を示し、抵抗率は極めて小さくなる。

## 【0034】

金属的性質を示す際のカーボンナノチューブの抵抗率を表1に示す。

#### 【0035】

カイラリティが異なると、単層カーボンナノチューブは、金属的性質または半導体的性質を持つようになる。現在の技術では、カイラリティを制御することは困難であるが、適当な割合で半導体的な単層カーボンナノチューブが含まれていても、本発明の優位性を覆すものではない。なぜなら、本発明の接続プラグおよび配線は、カーボンナノチューブと金属の混合材料から成っており、金属の部分を電流が流れることにより、抵抗増大を防ぐことができるからである。また、カーボンナノチューブの表面が金属で覆われるために、接続プラグと配線との接触抵抗を小さくできる。

#### 【0036】

本発明で用いるカーボンナノチューブは多層カーボンナノチューブあるいは単層カーボンナノチューブのいずれでもよい。多層カーボンナノチューブは、CVD法によって容易に生成できる。また、細線であるがゆえの量子化の制約を受けることがないために、常に金属的な性質を持つといった利点がある。

#### 【0037】

次に、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

##### (第1の実施形態)

第1の実施の形態の半導体装置における配線構造を模式的な断面図である図1を用いて説明する。

#### 【0038】

図1において、配線11は金属39からなり、素子または配線が形成された半導体基板（図示せず）上に形成された絶縁膜10上に形成されている。配線11を構成する金属39にはカーボンナノチューブ14が混入されている。カーボンナノチューブ14は、絶縁膜10上に形成されたニッケルからなる粒子15上に形成されている。粒子15は、カーボンナノチューブの成長の際の触媒として働き、粒子15を核としてカーボンナノチューブ14が成長している。

#### 【0039】

第1の実施の形態の半導体装置の製造方法を図2（a）から（c）を参照して

用いて説明する。

(基板の形成およびカーボンナノチューブの形成)

絶縁膜 10 は、半導体素子が形成されたシリコン基板 (図示せず) 上に形成されている。

#### 【0040】

絶縁膜 10 は熱酸化法または、CVD法で形成された膜厚 20 nm の膜で、酸化膜、窒化膜、酸窒化膜等からなる膜である。

#### 【0041】

次に、絶縁膜 10 上にスパッタ法で形成した膜厚が 2 ~ 10 nm の Ni を用い粒子 15 を形成する。

#### 【0042】

その後、該粒子 15 を核として粒子 15 上にカーボンナノチューブを成長させる (図 2 (a))。

#### 【0043】

粒子 15 は、ナノメートルサイズの粒状であり、金属、金属シリサイド、金属酸化物が使用できる。ニッケル以外にも鉄、白金、コバルトあるいは、コバルトおよびニッケルのシリサイド物あるいは、酸化鉄等が知られている。

#### 【0044】

ナノメートルサイズの粒状の粒子 15 は、2 ~ 10 nm の膜を形成することで得られる。スパッタ法以外にも蒸着法、気相成長法であっても良い。

#### 【0045】

ここでカーボンナノチューブ 14 は、単層カーボンナノチューブ、多層カーボンナノチューブ等に代表される繊維状のカーボンナノ材料、カーボンナノホーン、フラーレンで代表される粒子状のカーボンナノ材料及び、シリコン細線でもよい。

#### 【0046】

カーボンナノチューブは、熱CVD法あるいはプラズマCVD法により成長を行う。熱CVD法を用いるとナノチューブは絡まった状態になる傾向がある。配線の強度を高めるには、ナノチューブは絡まった状態である方が有利である。

## 【0047】

一方、プラズマCVD法を用いるとカーボンナノチューブを基板に対して垂直に配向させることもできる。

## 【0048】

プラズマCVD法による成長条件を以下に例示する。

## 【0049】

プロセスガス：アセチレンとアンモニアの混合ガス

ガス圧：3から20 Torr

基板温度：400度から500度

DCパワー：100から200W

熱CVD法による成長条件を以下に例示する。

## 【0050】

プロセスガス：メタン

ガス圧：0.1から1気圧

成長温度：500から800度

(配線の形成)

金属39としてAl系合金であるAl-Cu合金(Cu5%)をスパッタ法により膜厚600nmで絶縁膜10上に堆積させた(図2(b))。

## 【0051】

金属39は、Al、Cu、Ag、Al系合金(例えば、Al-Si、Al-Si-Cu等)、Cu系合金(Cu-Ag等)等がある。スパッタ法以外にもメッキ法、MOCVD(有機金属化学気相成長)法であってもかまわない。

## 【0052】

カーボンナノチューブの密度と金属39を堆積する際のボイドの発生頻度とは相関があり、密度が高い程ボイドの発生頻度は高くなる。ボイドは熱膨張によって破裂する場合があります、半導体装置の信頼性を低下させる。ボイドの生成を抑制しなければならない。

## 【0053】

ボイドの発生を抑制するには、(1)カーボンナノチューブを垂直に配向させ

る方法と（２）カーボンナノチューブの密度を下げる方法がある。（１）と（２）を併用してもよい。

#### 【0054】

カーボンナノチューブの密度は、Niの膜厚などを変えることにより制御できる。例えば、ニッケルの膜厚を薄くすればカーボンナノチューブの密度は低くなる。

#### 【0055】

最後に、公知のリソグラフィ技術と、エッチング技術を用いて配線11を形成する（図2（c））。

#### 【0056】

本第1の実施の形態の場合、配線中のカーボンナノチューブは、配線の上面近傍まで配されている方がストレスマイグレーション耐性は大きくなる。一方、エレクトロマイグレーションに対する耐性は、底面に略均一に配されていれば効果があるので、カーボンナノホーンのような粒状のカーボンナノ材料であってもかまわない。

#### （第2の実施の形態）

本発明の第2の実施形態は、シングルダマシン法による溝配線構造である。

#### 【0057】

図3は、シングルダマシン法による配線構造である。

#### 【0058】

シングルダマシン法による配線構造を説明する。素子または配線が形成された半導体基板（図示せず）上に形成された絶縁膜10と絶縁膜10上に形成された層間絶縁膜12及びエッチングストッパ層16が形成されている。

#### 【0059】

配線11は層間絶縁膜12及びエッチングストッパ層16に形成した溝の中に形成されている。配線11は、バリアメタル層13上に形成された粒子15と、粒子15上に成長されたカーボンナノチューブを有し、金属39により埋め込まれている。

#### 【0060】

粒子15はFeまたはNi、ファイバー14は例えばカーボンナノチューブやカーボンナノホーンなどのカーボンファイバーやシリコン細線などでよい。

#### 【0061】

次に図4を用いてシングルダマシン法による配線構造の製造方法を説明する。

(配線溝17の形成)

絶縁膜10と、絶縁膜10上に形成された層間絶縁膜12および、層間絶縁膜12上にプラズマCVD法で形成されたSiC(膜厚 30nm)からなるエッチングストッパ層16とが、半導体素子が形成されたシリコン基板(図示せず)上に形成されている。エッチングストッパ層は、配線となる金属が絶縁膜中に拡散することを防止する拡散防止膜としても働く。

#### 【0062】

絶縁膜10(膜厚 300nm)はシリコン基板を熱酸化することで形成した酸化膜であっても、CVD法(化学気相法)で成膜された酸化膜、窒化膜及び、酸窒化膜であってもかまわない。

#### 【0063】

層間絶縁膜12(膜厚 600nm)は例えばCVD法で形成されたシリコン酸化膜、シリコン窒化膜、シリコン酸窒化膜、あるいは低誘電率で電圧耐性が高い例えば特開平2002-118169号公報に示される、ジビニルシロキサンベンゾシクロブテンのような有機物であってもかまわない。微細化に伴い配線の間隔が狭くなっているために、配線間容量を下げるために低誘電率で電圧耐性の高い有機物材料の研究が広く行われている。

#### 【0064】

エッチングストッパ層16は、層間絶縁膜よりもエッチングレートが高いものが好ましく、更に、金属原子が絶縁膜中に拡散するのを防止する拡散防止膜としても働く必要があり、SiC以外にシリコン窒化膜、シリコン酸窒化膜等が好ましい(図4(a))。

#### 【0065】

その後公知のフォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いて、配線溝17を形成する(図4(b))。

(バリア金属層の形成)

配線溝 17 を含む基板 10 全面にバリア金属層 13 として膜厚 50 nm の Ta をスパッタ法により成膜する (図 4 (c))。

【0066】

バリア金属層 13 は、金属原子が絶縁膜中に拡散するのを防止する膜である。Ti、TiN、または Ti と TiN の 2 層 (Ti が下層) 構造、あるいは Ta、Ta<sub>2</sub>N<sub>3</sub>、または Ta と Ta<sub>2</sub>N<sub>3</sub> の 2 層 (Ta が下層) 層構造等が好ましい。

(カーボンナノチューブの形成)

第 1 の実施の形態と同様に、スパッタ法で形成した膜厚が 2 ~ 10 nm の Ni を用い粒子 15 を溝 17 の底部に形成する。その後、粒子 15 を核として粒子 15 上にカーボンナノチューブを成長する。カーボンナノチューブは配線溝 17 からみ出す程度 (800 nm 程度) まで成長させる (図 4 (d))。

(配線の形成)

シード層 18 として膜厚 50 nm の Cu をスパッタ法により形成し (図 4 (f))、メッキ法によって Cu からなる 650 nm の金属層 19 を堆積させ、総計 700 nm の Cu 層からなる金属層 19 をバリア金属層 13 上に形成する。

【0067】

シード層 18 の形成には、MOCVD 法 (有機金属化学気相成長法) を用いてもよい。

【0068】

金属層 19 を MOCVD 法 (有機金属化学気相成長法) で形成する場合シード層 18 の形成を省略してもかまわない。

【0069】

メッキ法や MOCVD 法は、スパッタ法よりもボイドが生じにくい。

【0070】

配線 11 は、シード層 18 及び金属層 19 で構成される。

【0071】

溝配線の場合、Al や Al 系合金よりも、Cu や Ag あるいは、Cu 系合金 (Cu-Ag)、Ag 系合金 (Ag-Cu) が用いられていることが多い。



## 【0072】

最後に、公知のCMP法（化学機械的研磨法）によって配線溝17中以外の余分なCu層、カーボンナノチューブ、Niを削り取り、配線11を形成する。CMPでは、シリカを主成分とする研磨剤に過酸化水素を混合した研磨溶液（スラリー）を用いる（図4（g））。

## 【0073】

シード層18は、金属層19と同一組成であっても金属層19と異なった組成であってもかまわない。

## 【0074】

次に、下層配線と上層配線とを接続する接続プラグの構造を図面を用いて説明する。

## 【0075】

第1層配線層34（層間絶縁膜12）に形成された配線11と接続する接続プラグ層35を提供するものである。

## 【0076】

図5をもちいて、下層の配線11に接続する、接続プラグの構造を説明する。

## 【0077】

図5において図3と同じものは同一番号を用いている。

## 【0078】

尚、図5における配線11にはカーボンナノチューブを混入していないが、図3のようにカーボンナノチューブ15を混入してあっても良い。

## 【0079】

第1配線層34は、層間絶縁膜12、配線11、バリアメタル13、エッチングストoppa層16及び27から構成されている。

## 【0080】

第1配線層34上の接続プラグ層35は、層間絶縁膜29、接続プラグ26、バリアメタル層28、粒子25、エッチングストoppa層30から構成されている。接続プラグ26中にはカーボンナノチューブ24が混入している。

## 【0081】

図5には接続プラグと接続される上層配線が形成されていないが、上層配線も図4と同様な製造方法で形成できる。

#### 【0082】

接続プラグにカーボンナノチューブのような機械的強度が高く、エレクトロマイグレーション耐性の高い構造体が含まれることで、上層配線及び、下層配線にカーボンナノチューブのような機械的強度が高く、エレクトロマイグレーション耐性の高い構造体を含ませなくてもエレクトロマイグレーションは生じない。

#### 【0083】

一方、ストレスマイグレーションは、配線を構成する金属に機械的強度が高い構造体を混入させた方が効果的である。

#### 【0084】

以下、図6(a)から(g)を参照して、第2の実施の形態の配線構造の接続プラグの製造方法を説明する。

(第1配線層およびビアホール形成)

半導体素子が形成されたシリコン基板(図示せず)上に形成された絶縁膜10と、絶縁膜10上に形成された層間絶縁膜12と該第1の層間絶縁膜12に形成された溝部に形成された配線11はバリア層13と金属とからなっている。層間絶縁膜22上にエッチングストッパ層16が形成されている。エッチングストッパ層16上に層間絶縁膜29とエッチングストッパ層30が形成されている(図6(a))。

#### 【0085】

層間絶縁層29は層間絶縁膜12と同様に形成される。

#### 【0086】

その後公知のフォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いて、ビアホール31を形成する(図6(b))。

(バリア金属の形成)

溝配線と同様にビアホール31を含む基板全面にバリア金属層28として膜厚10から30nmのTaをスパッタ法により成膜する(図6(c))。

(カーボンナノチューブの形成)

粒子25となるNi、カーボンナノチューブ24を形成する。カーボンナノチューブは配線溝31からはみ出す程度(800nm程度)まで成長させる(図6(d))。

(配線の形成)

シード層32として膜厚30nmのCuをスパッタ法により形成し(図6(e))、メッキ法によって670nmのCuからなる金属層33を堆積させ、総計700nmのCu層をTa膜上に形成する(図6(f))。シード層およびCu層の形成には、MOCVD法(有機金属化学気相成長法)を用いてもよい。最後に、従来技術であるCMP法によってビアホール中以外の余分なCu層、カーボンナノチューブ、Niを削り取り、接続プラグ26を形成する(図6(g))。

#### 【0087】

接続プラグ26は図4で説明した配線11と同様に製造できる。

(第3の実施の形態)

第3の実施の形態は、配線と接続プラグとを同時に形成するデュアルダマシン法による溝配線構造について説明する。

#### 【0088】

図7をもちいてデュアルダマシン法による配線構造を説明する。

#### 【0089】

図7においても図3、図5と同じものは同一番号を用いている。

#### 【0090】

尚、図7における配線11にはカーボンナノチューブを混入していないが、図3のようにカーボンナノチューブ15が混入してあっても良い。

#### 【0091】

第1配線層59は、層間絶縁膜12、配線11、バリアメタル13、エッチングストップ層16及び47から構成されている。

#### 【0092】

本実施の形態は、半導体素子を含む基板20上に形成された第1層配線層59、接続プラグ層60および第2配線層61を提供するものである。第1配線層59は、層間絶縁膜12、配線11、バリアメタル層13、エッチングストップ層

16及び47から構成されている。

#### 【0093】

第1配線構造上の接続プラグ層は、層間絶縁膜49、接続プラグ46、バリアメタル層48、粒子45、エッチングストッパ層50から構成されている。接続プラグ46中にはファイバー44が混入している。

#### 【0094】

第2配線層61は、層間絶縁膜52、配線51、バリアメタル層48、エッチングストッパ層53から構成されている。配線50中にはカーボンナノチューブ46が混入している。

#### 【0095】

以下、図8(a)から(h)を参照して、本発明の第3の実施の形態であるデュアルダマシン法の製造方法を説明する。

(第1配線層およびビアホール形成)

第2の実施の形態と同様な方法を用いてエッチングストッパ層47を除いた第1配線層59を形成する。

#### 【0096】

次に、膜厚30nmのSiC膜からなるエッチングストッパ層47、51、53、プラズマCVD法により膜厚600nmのシリコン酸化膜からなる層間絶縁膜49、52をエッチングストッパ層47、層間絶縁膜49、エッチングストッパ層51、層間絶縁膜52、エッチングストッパ層53の順に形成する(図8(a))。

#### 【0097】

その後フォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いて、エッチングストッパ層51、層間絶縁膜52、エッチングストッパ層53を貫通するホール54を形成する(図8(b))。

#### 【0098】

ホール54はビアホール56と同一パターンにしておく。次に、フォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いて、第2配線層61の配線溝55を形成する。このとき、ホール54のパターンは層間絶縁膜49に転写されビアホール

56が形成される(図8(c))。

(バリア金属の形成)

配線溝55、ビアホール56を含む基板全面にバリア金属層48として膜厚10から30nmのTaをスパッタ法により成膜する(図8(d))。

(カーボンナノチューブの形成)

粒子45となるNi、カーボンナノチューブ44を形成する。カーボンナノチューブはビアホール56からはみ出す程度(800nm程度)まで成長させる(図8(e))。

(配線及び、接続プラグの形成)

シード層57として膜厚30nmのCuをスパッタ法により形成し(図8(f))、メッキ法によって1370nmのCu層58を堆積させ、総計1400nmのCu層をTa膜上に形成する(図8(g))。

【0099】

シード層およびCu層の形成には、MOCVD法(有機金属化学気相成長法)を用いてもよい。

【0100】

ボイド発生の抑制は、前述の方法で行える。

【0101】

最後に、従来技術であるCMP法(化学機械的研磨法)によってビアホール中以外の余分なCu層、カーボンナノチューブ、Niを削り取り、配線50および接続プラグ46を形成する(図8(h))。

【0102】

【発明の効果】

本発明によると、エレクトロマイグレーションおよびストレスマイグレーションに対して耐性のある配線構造を備えた半導体装置を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1の実施の形態の配線構造を示す模式的な断面図。

**【図 2】**

本発明の第 1 の実施の形態の配線の製造方法の各工程を説明するための模式的な断面図である。

**【図 3】**

本発明の第 2 の実施の形態であるシングルダマシン法による配線構造を示す模式的な断面図。

**【図 4】**

本発明の第 2 の実施の形態であるシングルダマシン法による配線の製造方法の各工程を説明するための模式的な断面図である。

**【図 5】**

本発明の第 2 の実施の形態であるシングルダマシン法による接続プラグの構造を示す模式的な断面図。

**【図 6】**

本発明の第 2 の実施の形態であるシングルダマシン法による接続プラグの製造方法の各工程を説明するための模式的な断面図である。

**【図 7】**

本発明の第 3 の実施形態であるデュアルダマシン法による配線及び接続プラグを説明するための模式的な断面図である。

**【図 8】**

本発明の第 3 の実施形態であるデュアルダマシン法による配線及び接続プラグの製造方法の各工程を説明するための模式的な断面図である。

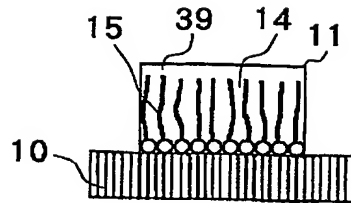
**【符号の説明】**

- 10・・・絶縁膜
- 11、51・・・配線
- 12、29、42、49、52・・・層間絶縁膜
- 13、28、43、48・・・バリアメタル層
- 14、24、44・・・カーボンナノチューブ
- 17、55・・・配線溝
- 15、25、45・・・粒子

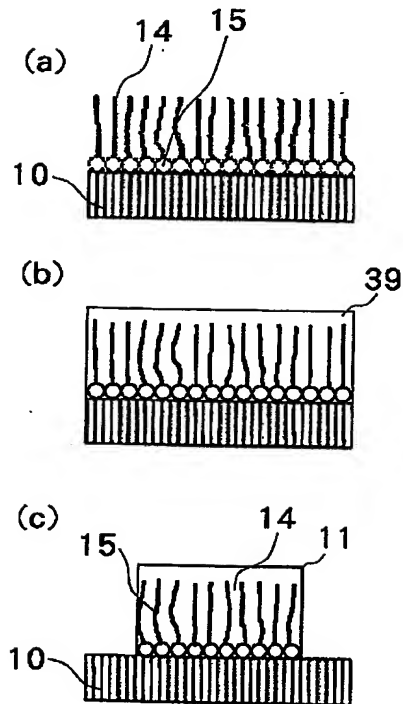
18、32、57 . . . . シード層  
19、33、39、58 . . . . 金属層  
26、46 . . . . 接続プラグ  
16、27、30、47、50、53 . . . . エッチングストッパ層  
31、56 . . . . ビアホール  
54 . . . . ホール  
34、59 . . . . 第1配線層  
35、60 . . . . 接続プラグ層  
61 . . . . 第2配線層

【書類名】 図面

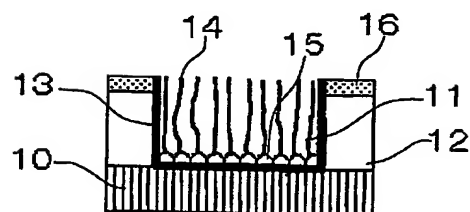
【図 1】



【図 2】

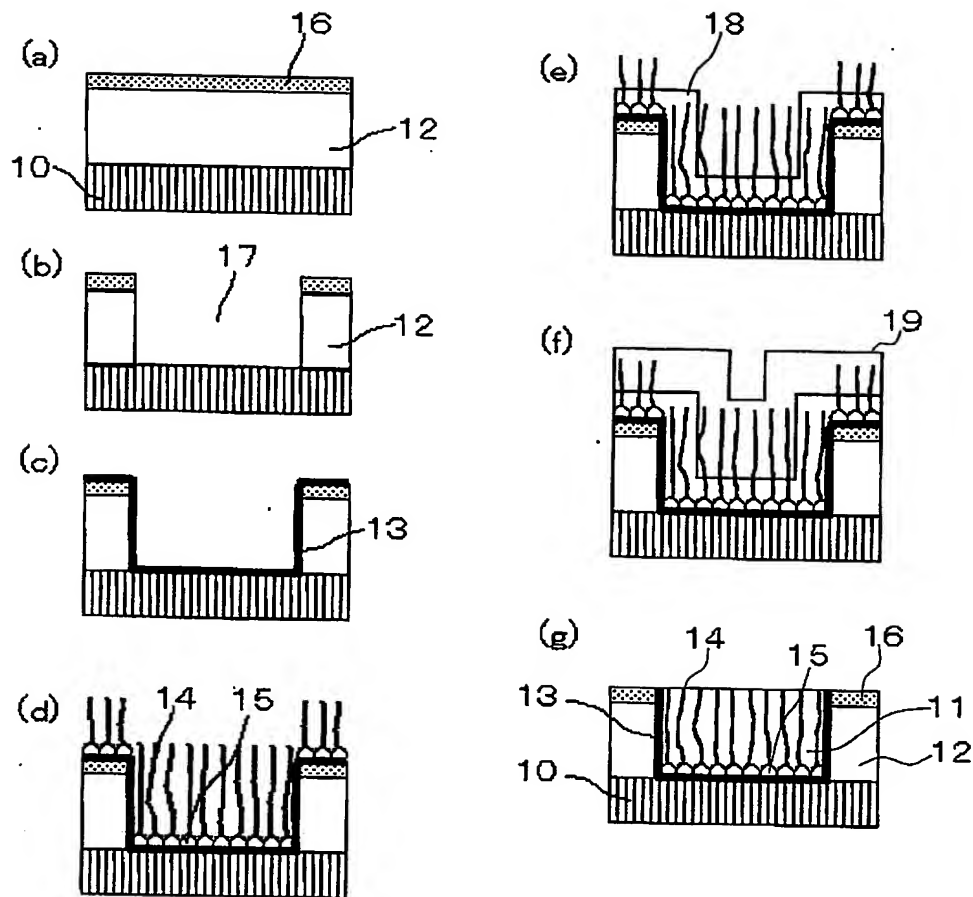


【図 3】

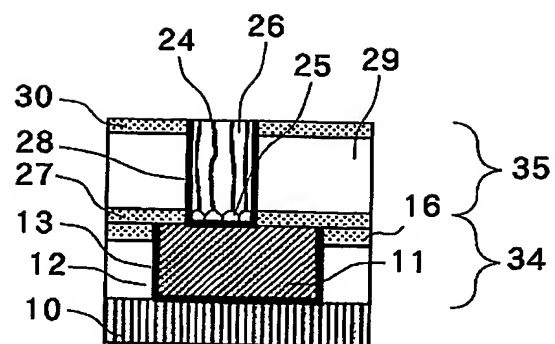




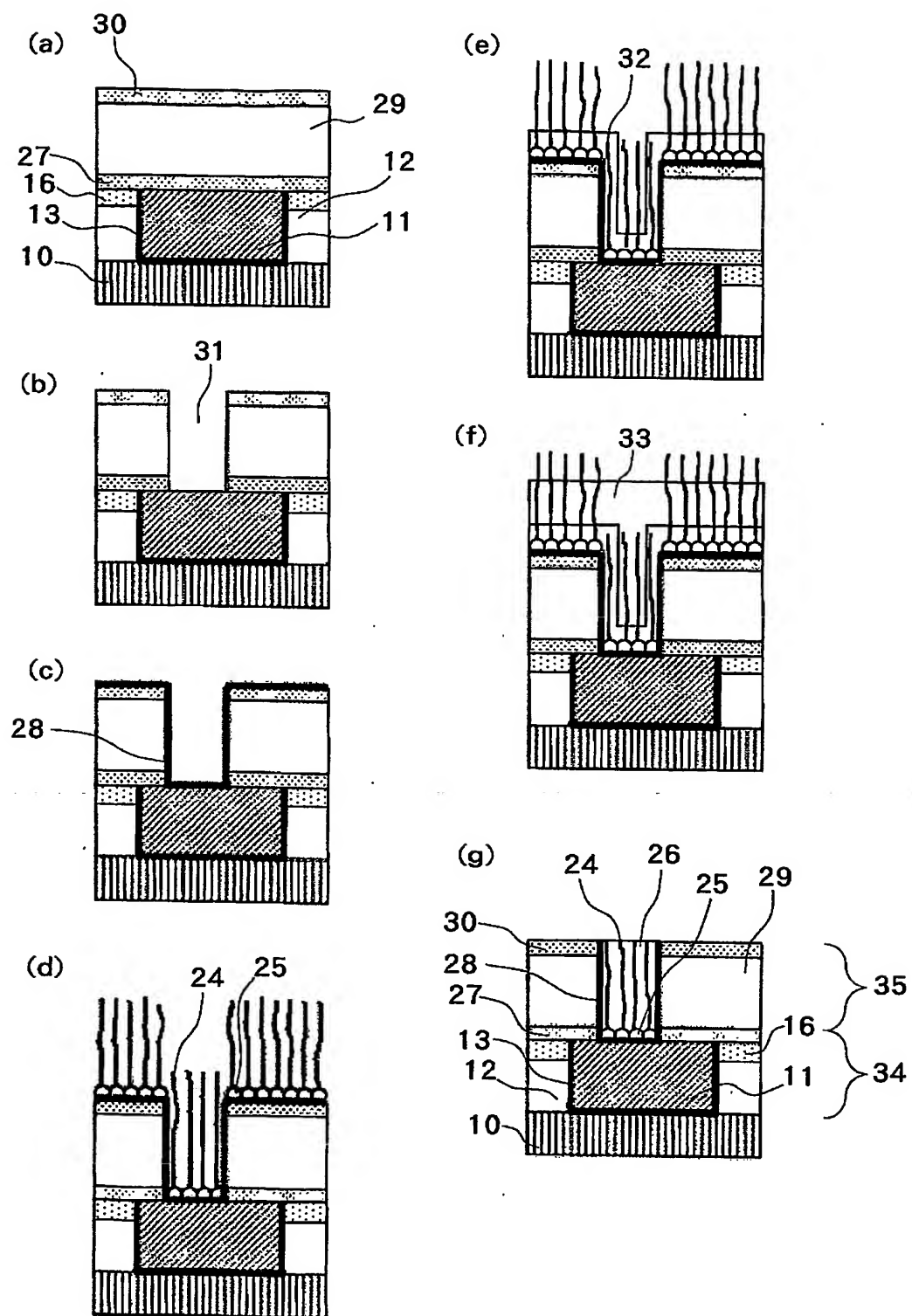
【圖 4】



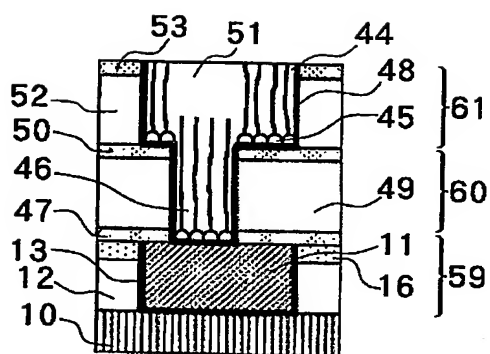
【図 5】



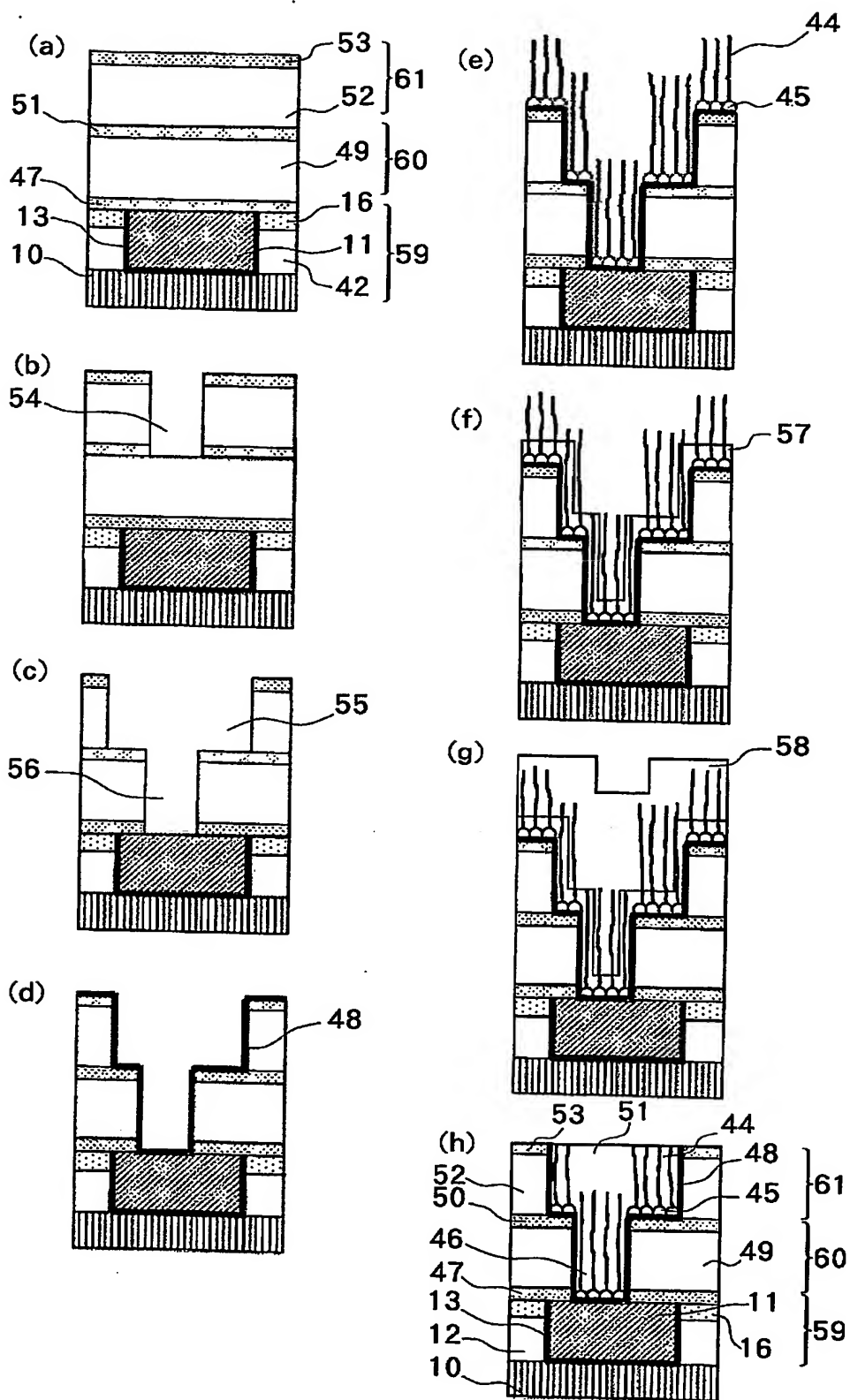
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 微細化により、配線構造の抵抗値の増大および、エレクトロンマイグレーション及びストレスマイグレーション耐性の低下が問題となっている。

本発明は、微細化しても抵抗値が低く、エレクトロマイグレーションおよびストレスマイグレーションを生じない高い信頼性をもつ半導体装置の配線構造およびその製造方法を提供することにある。

【構成】 半導体素子が形成された基板上の絶縁膜上に形成された配線溝あるいはビアホールにメタルとカーボンナノチューブの混合体を材料とした配線あるいは接続プラグを有する半導体装置と、その製造方法。

【選択図】 図 3

特願 2002-347753

出願人履歴情報

識別番号

[000004237]

1. 変更年月日

1990年 8月29日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区芝五丁目7番1号

氏 名

日本電気株式会社